

doi:10.15199/48.2016.07.43

Identyfikacja problemu pomiarów luminancji wieloźródłowych opraw oświetleniowych LED

Streszczenie. Prawidłowa rejestracja rozkładu luminancji obiektów zawierających wiele źródeł światła jest zagadnieniem trudnym, nawet przy wykorzystaniu matrycowych mierników luminancji. Wszechobecne reklamy LED oraz oprawy oświetleniowe z wyładowczymi oraz elektroluminescencyjnymi źródłami światła są w miejskim otoczeniu normą. Matrycowe mierniki luminancji są pozornie bardzo proste w obsłudze, co potęguje możliwość nieświadomego popełnienia błędów pomiarowych. W artykule przedstawione zostaną wyniki prac autora, pokazujące z jakimi problemami mamy do czynienia.

Abstract. Proper registration of the luminance distribution of objects containing multiple light sources is an difficult issue, even using imaging luminance measuring devices (ILMD). Often found LED screens and discharge and LED luminaires in the urban environment are the norm. ILMD are apparently very easy to use, which enhances the possibility of unknowingly committing errors. This paper will present the results of the author's works, showing what problems we face. (**Identification of the luminance measurements problems of multisources LED luminaires**).

Słowa kluczowe: technika świetlna, pomiary rozkładów luminancji, matrycowy miernik luminancji, LED

Keywords: lighting technology, luminance distribution measurements, luminance measuring camera, LED

Wstęp

Pomiary luminancji są obecnie jednymi z najczęściej wykonywanych w technice świetlnej. Po upowszechnieniu się na rynku matrycowych mierników luminancji ich wykonanie stało się również z pozoru banalnie proste. Wycelowanie miernika i naciśnięcie przycisku odpowiedzialnego za wykonanie pomiaru, najczęściej bywa przyjmowane za wystarczające do rejestracji obrazu rozkładu luminancji, poddawanego później analizie. Chociaż jest to prawdą, gdy rejestracji podlega scena nie zawierająca dużych gradientów zmienności luminancji, problemy pojawiają się przy rejestracji np. wieloźródłowych opraw oświetleniowych LED w polu widzenia urządzenia [1]. Dużym problemem jest fakt, iż operator urządzenia w żadnym momencie analizy wyniku pomiaru, nie zdaje sobie sprawy z błędnych wyników. Pozornie wszystko jest w porządku, urządzenie nie sygnalizuje przekroczenia dynamiki matrycy, ponieważ pozornie nie jest ona przekroczona.

Najczęstszymi przypadkami rejestracji błędnych wyników pomiarów są pomiary związane z oceną ośnienia pochodzącego od nowoczesnych wieloźródłowych opraw LED oraz opraw ze źródłami wyładowczymi wysokoprężnymi. W tych przypadkach uzyskanie właściwego wyniku pomiaru, poddawanego właściwej interpretacji ma kluczowe znaczenie.

Przyczyną rejestracji wielkości (najczęściej wartości znacznie zaniżonej), nieodpowiadającej odczuciu wzroku ludzkiego, jest budowa matrycy. Kluczowy jest fakt właściwego doboru oraz określenia parametrów wszystkich komponentów układu pomiarowego, takich jak matryca, a dokładniej wielkość matrycy i liczba komórek światłoczułych, a co za tym idzie wymiary fizyczne pojedynczego piksela. Kolejnym elementem jest ogniskowa obiektywu, która wraz z matrycą determinuje pole widzenia pojedynczej komórki (w pionie i w poziomie).

Identyfikacja problemów

Należy zastanowić się w którym momencie uznać, iż zmierzona luminancja odpowiada luminancji postrzeganej przez człowieka. W sytuacji, gdy używanie obiektywu o większej wartości ogniskowej lub zbliżanie się do obiektu powoduje pomiar innej wartości luminancji tego samego obiektu z tego samego kierunku obserwacji niż przy pomiarze wyjściowym. Zdaniem autora, wyznacznikiem powinna być typowa wartość rozdzielczości oka ludzkiego. Można to uzyskać wyłącznie poprzez odpowiednie, świadome dobranie wszystkich komponentów pomiarowych, z których składa się system. Przegląd wybranych typowych matryc cyfrowych, wykorzystywanych do konstrukcji popularnych na rynku matrycowych mierników luminancji (ang. imaging luminance measuring devices ILMD), przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Przegląd wybranych matryc cyfrowych, wykorzystywanych do konstrukcji popularnych ILMD

Typ miernika	Matrycowy miernik luminancji				
Nazwa urządzenia	LMK 5/ LMK 5 Color	LMK 5/ LMK 5 Color	LMK 50 Color	LMK 50 Color	LMK mobile advanced
Oznaczenie matrycy	Sony-CCD [ICX 285 AL (2/3"); 14 Bit digital, progressive scan]	Sony-CCD [ICX 655 AL (2/3"); 14 Bit digital, progressive scan]	Kodak-CCD [KAI-11002M, square pixel; 12 Bit digital, progressive scan (1-3 fps)]	Kodak-CCD [KAI-16000M, square pixel; 12 Bit digital, progressive scan (1-3 fps)]	CMOS Canon APS-C
Typ matrycy	B/W	B/W	RGB Bayer (1B 1R 2G)	RGB Bayer (1B 1R 2G)	RGB Bayer (1B 1R 2G)
Rozdzielczość	1380 x 1030	2448 x 2050	4008 x 2672	4008 x 4008	5184 x 3456 (2592 x 1728 efektywnie)
Przekątna matrycy	11mm	11mm	43,3mm	43,3mm	27mm
Rozmiar komórki światłoczułej	6.45µm(H) × 6.45µm(V)	1.68µm(H) × 1.68µm(V)	9.0µm(H) × 9.0µm(V)	7.4µm(H) × 7.4µm(V)	b/d

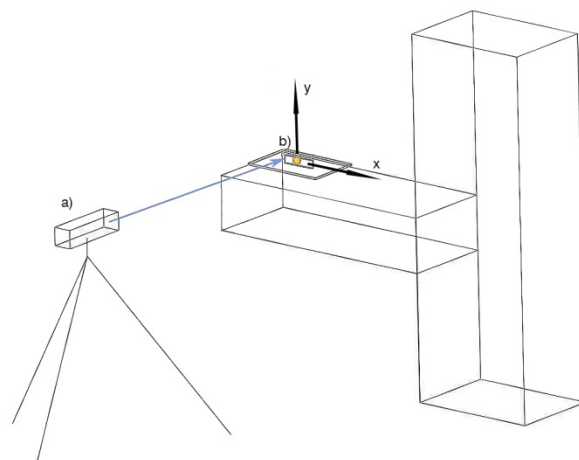
Z tabeli 1 jednoznacznie wynika, iż liczba pikseli nie jest wartością kluczową i najważniejszą. Nie wynika z niej fizyczna wielkość piksela. Należy uwzględnić szczegółowe dane katalogowe udostępniane przez producentów matryc, biorąc pod uwagę takie szczegóły konstrukcji matrycy jak fakt, czy matryca występuje w wersji RGB czy B/W. W wariancie RGB powinniśmy brać pod uwagę fizyczne wymiary subpiksela, składającego się z 4 komórek światłoczułych, jeśli wartości rejestrowane przez wszystkie 4 komórki składają się na finalną wartość luminancji rejestrowaną przez taki subpixel. Do tych wymiarów należy świadomie dobrać obiektyw (ogniskową) w taki sposób, aby pojedyncza komórka rejestrująca wartość luminancji w punkcie, mierzyła tą samą wielkość, która jest „mierzona” przez pojedynczy receptor znajdujący się w ludzkim oku.

Typowo rozdzielczość oka ludzkiego zawiera się w przedziale od 0,5min arc do 1min arc dla większości populacji [2]. Teoretycznie rozwiązaniem jest takie dobranie obiektywu do matrycy, aby pole widzenia pojedynczej komórki światłoczułej odpowiadało polu widzenia pojedynczego receptora oka ludzkiego charakteryzującego większość populacji. Zagadnienie jednak staje się bardziej skomplikowane, gdy uwzględnimy, iż na rynku funkcjonują obok siebie dwie technologie konstrukcji matrycowych mierników luminancji (tab. 1). Jak wcześniej wspomniano są to matrycowe mierniki luminancji, których matryce zbudowane są w oparciu o technologię B/W oraz matryce z filtrami barwnymi, z których większość konstrukcji oparta jest na wykorzystaniu matrycy Bayera (1R2G1B).

Eksperyment pomiarowy

Teoretycznie więc, w konstrukcjach mierników wykorzystujących matryce B/W maksymalną granicą powinna być rozdzielczość urządzenia wynikająca z rozdzielczości oka dla skrajnego przypadku najlepszego wzroku, czyli 0,5min arc. Drugi przypadek jest znacznie trudniejszy do analizy i podjęcia decyzji o zaleceniach konstrukcyjno-pomiarowych związanych z pomiarami rozkładów luminancji. Czy polu związanemu z 0,5min arc ma odpowiadać pole rejestrowane przez subpixel

składający się z co najmniej czterech pikseli (1R2G1B), czy polu temu powinno odpowiadać pole powierzchni rejestrowane przez pojedynczy fizyczny piksel matrycy? Jeśli przyjmiemy takie założenie, należy zastanowić się jaką luminancję rejestruje pojedynczy piksel matrycy przykryty filtrem zielonym, jaką luminancję pixel „niebieski” a jaką „czerwony”.



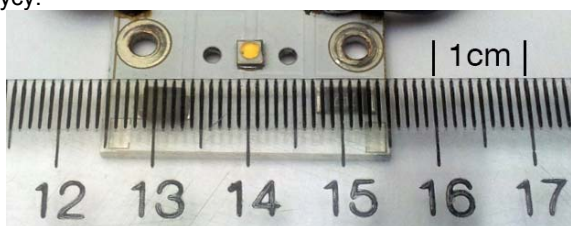
Rys. 1. Uproszczony model laboratoryjnego stanowiska pomiarowego, gdzie: a) matrycowy miernik luminancji, b) LED

Z tego powodu w Zakładzie Techniki Świetlnej Politechniki Warszawskiej przeprowadzono pomiary z wykorzystaniem stanowiska pomiarowego z rys. 1, aby ocenić i oszacować ewentualne błędy pomiarowe wynikające z tej technologii. W tabeli 2 pokazano wyliczenia własne zestawiające pole powierzchni rejestrowane przez pojedynczy piksel matrycy wykorzystywanych urządzeń w odniesieniu do pola powierzchni obserwowanego przez ludzkie oko z analogicznych odległości.

Tabela 2. Zestawienie obszaru rejestrowanego przez pojedynczy fotelement urządzeń pomiarowych

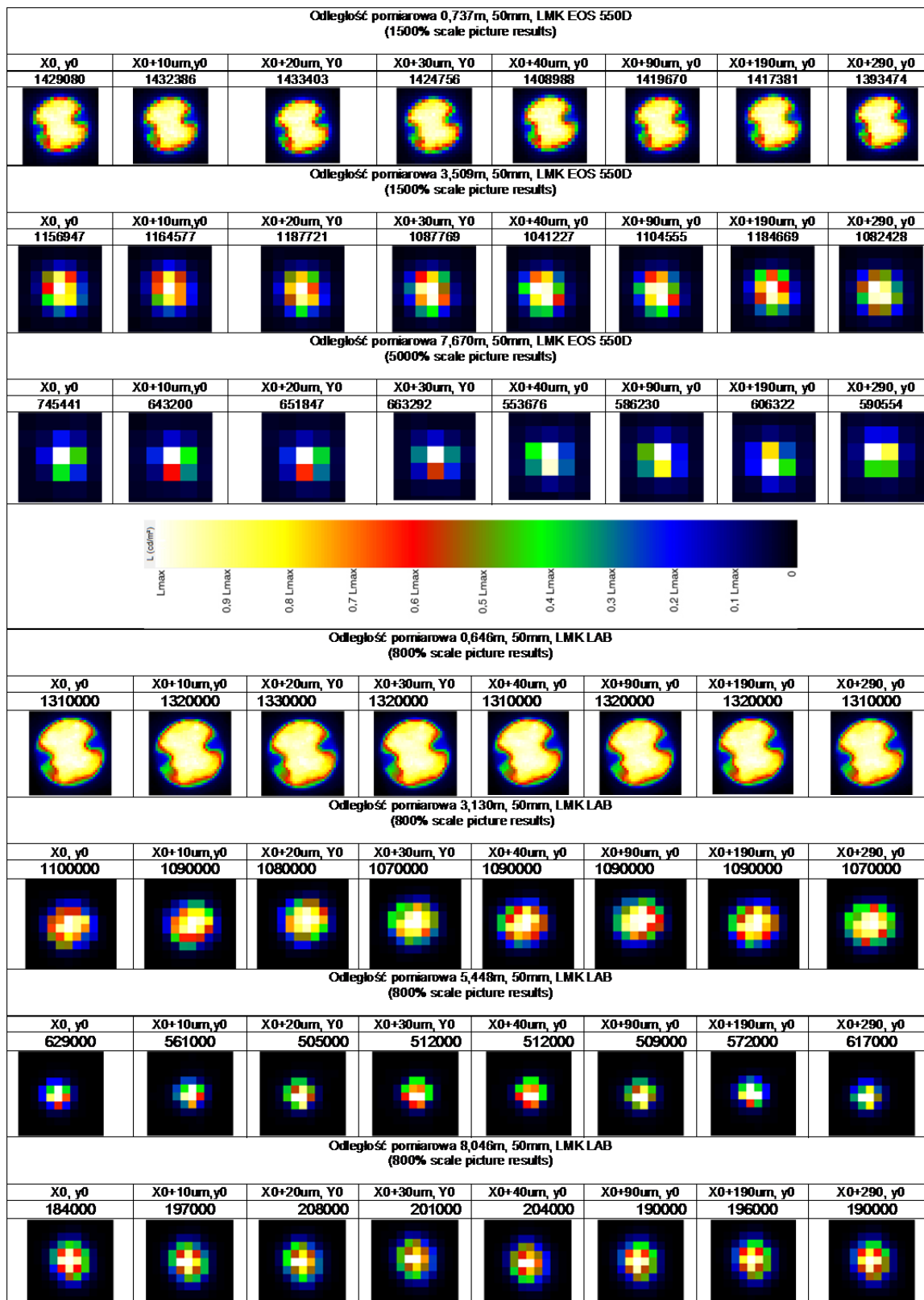
Zestawienie obszaru rejestrowanego przez pojedynczy fotelement					
Odległość obserwacji/pomiaru	OKO		EOS 550D (CMOS 5184 x 3456) 1 pixel Field of View FOV		LMK LAB (CCD 1380 x 1030) 1 pixel FOV
		50mm	50mm	17mm	50mm
	0,5MAR	1MAR	0,0146 x 0,0146 deg	0,005 x 0,005 deg	0,0073 x 0,0073 deg
0,646m	0,06mm x 0,06mm	0,12mm x 0,12mm	-	-	0,08mm x 0,08mm
0,737m	0,07mm x 0,07mm	0,13mm x 0,13mm	0,19mm x 0,19mm	0,06mm x 0,06mm	-
3,130m	0,30mm x 0,30mm	0,60mm x 0,60mm	-	-	0,40mm x 0,40mm
3,509m	0,34mm x 0,34mm	0,67mm x 0,67mm	0,90mm x 0,90mm	0,30mm x 0,30mm	-
5,448m	0,52mm x 0,52mm	1,05mm x 1,05mm	-	-	0,69mm x 0,70mm
7,670m	0,74mm x 0,74mm	1,47mm x 1,47mm	1,96mm x 1,96mm	0,67mm x 0,67mm	-
8,046m	0,77mm x 0,77mm	1,55mm x 1,55mm	-	-	1,03mm x 1,03mm

W eksperymencie wykorzystano diodę LED o minimalnych gabarytach (rys. 1), tak dobraną, aby możliwe było pokrycie jej całej powierzchni przez pojedynczy piksel matrycy.



Rys. 2. Fotografia chipu LED biorącego udział w eksperymencie

Na rysunku 3 pokazano wyniki pomiarów rozkładów luminancji w skali pseudo-kolor dla wybranych wariantów, gdzie w poszczególnych seriach pomiarowych stała była odległość pomiaru i ogniskowa obiektywu, zmieniało się natomiast położenie źródła światła zgodnie z osiami x i y, oznaczonymi na rysunku 1. Dodatkowo na rys. 4 i rys. 5 zamieszczono wykresy przedstawiające rejestrowaną maksymalną wartość luminancji dla różnych odległości pomiarowych i tych samych wartości przesunięć w osiach x i y (rys. 1).

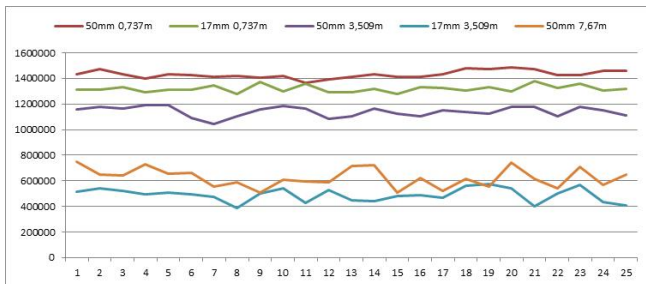


Rys. 3. Przykładowe wyniki pomiarów rozkładów luminancji w skali pseudo-kolor dla EOS 550D i LMK laboratoryjnego [7]

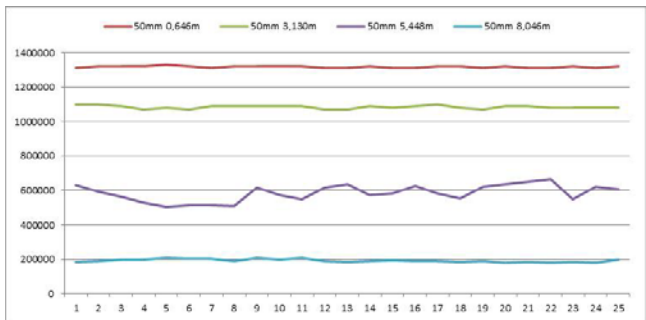
Należy dodać, iż przesunięcia źródła światła na potrzeby pomiarów były zgodne z przyjętą zasadą. Dla każdej z wybranych odległości pomiarowych, rejestrowano rozkłady luminancji pojedynczej LED (rys. 2), zmieniając jej położenie w płaszczyźnie poziomej oraz pionowej (rys. 1b). Na każdy z kierunków (x i y), przypadało 12 pomiarów. Sekwencja zmiany położenia źródła światła była następująca:

- rejestrowane zmiany położenia w osi poziomej x (rys. 1): położenie 0, 5um, 10um, 15um, 20um, 30um, 40um, 90um, 140um, 190um, 240um, 290um zgodnie z rysunkiem 4. Wartości przesunięć odpowiadają kolejnym poziomom w osi poziomej od 1 do 12 na rysunkach (rys. 4 i 5).
- następnie rejestrowane zmiany położenia w osi pionowej y(rys. 1): położenie 0, 5um, 10um, 15um, 20um, 30um, 40um, 90um, 140um, 190um, 240um, 290um zgodnie z

rysunkiem 5. Wartości przesunięć odpowiadają kolejnym położeniom w osi poziomej od 13 do 25 na rysunkach (rys. 4 i 5).



Rys. 4. Wykres zmienności luminancji maksymalnej w zależności od ogniskowej użytego obiektywu i odległości pomiarowej przy niezmiennych parametrach źródła światła LED (EOS 550D)



Rys. 5. Wykres zmienności luminancji maksymalnej w zależności od ogniskowej użytego obiektywu i odległości pomiarowej przy niezmiennych parametrach źródła światła LED (LMK) [7]

W optymalnym przypadku zestaw wyników pomiarów dla pojedynczej odległości powinien przyjmować te same wartości, tym samym być linią poziomą na wykresach rys. 4 i rys. 5. Dodatkowo bez problemów można zauważyć, iż wraz ze wzrostem odległości pomiarowej, pojedyncze punkty matrycy rejestrują wartość średnią luminancji źródła światła i jego najbliższego otoczenia. Oczywiście jest że możemy niemal w nieskończoność powiększać mierzone źródło światła albo się do niego przybliżać. Momentem, kiedy uznamy wynik pomiaru za optymalny i prawdziwy w przypadku luminancji powinno być dopasowanie urządzenia pomiarowego do rozdzielczości oka ludzkiego. W przypadku matryc B/W pole widzenia pojedynczej komórki światłoczułej powinno odpowiadać polu widzenia pojedynczego receptora oka ludzkiego dla większości populacji. Przypadek matryc RGB jest znacznie bardziej skomplikowany. Teoretycznie, analogicznie do poprzedniego wariantu B/W w przypadku matryc RGB, do pola widzenia powinien być dopasowany subpiksel, składający się z kilku punktów na pojedynczy element światłoczuły mierzący wartość luminancji. Jest to jednak zbyt duże uproszczenie, ponieważ może funkcjonować jedynie w przypadku, gdy każda ze składowych RGB rejestruje fragment źródła światła posiadający taką samą wartość luminancji. W praktyce w rzeczywistości wariant taki nie ma możliwości zaistnieć.

Podsumowanie

W dzisiejszych czasach ograniczona dynamika cyfrowych urządzeń rejestrujących nie stanowi problemu podczas pomiarów rozkładów luminancji o bardzo szerokim zakresie w obrębie pojedynczej sceny pomiarowej. Dynamiczny rozwój technologii HDR [3][4][5] powoduje, iż wiarygodność pomiarów luminancji realizowanych przy wykorzystaniu matrycowych mierników luminancji jest bardzo duża dla obiektów o niewielkim gradiencie zmienności luminancji. Niestety nadal problemem jest osiągnięcie rozdzielczości oka ludzkiego oraz jednocześnie zapewnienie szerokiego kąta widzenia obiektywu. Według autora potencjalnie najmniejsze problemy związane są z technologią, która wykorzystywana jest w laboratoryjnych matrycowych miernikach luminancji, których konstrukcja oparta jest o matryce B/W. Niestety rozdzielczości matryc B/W są wciąż stosunkowo niewielkie (rzędu kilku milionów pixeli).

Na drugim biegunie znajdują się urządzenia z matrycami zawierającymi filtry barwne R,G,B. Wzorcowanie matryc, w których komórki światłoczułe przykryte są filtrami barwnymi wymaga opracowania nowej teorii blisko związanej z aparatem wzroku człowieka. Świat techniki świetlnej w dobie dynamicznego rozwoju konstrukcji źródeł światła musi zmierzyć się z opracowaniem teorii związanej z pomiarami oślnienia przykrego [6] w warunkach zewnętrznych, uważam, iż jednocześnie powinien zająć się kwestiami wiarygodności uzyskiwanych wyników pomiarów.

Autor: Sebastian Słomiński, dr inż., Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Techniki Świetlnej, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: sebastian.slominski@ien.pw.edu.pl

LITERATURA

- [1] Słomiński S., „Luminance mapping to the light source model - possibilities to use a MML in the lighting technology field”, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, 4/2011, str. 87-89.
- [2] Cai H. Luminance gradient for lighting evaluation. Lighting Research & Technology, published online 27 November 2013, DOI: 10.1177/1477153513512501, 0: 1-21
- [3] H Cai, „High dynamic range photogrammetry for synchronous luminance and geometry measurement”, Lighting Research and Technology, 2013, 45: 230-257
- [4] Cai, H. & Chung, T. M. Improving the quality of high dynamic range images. Lighting Research & Technology, 2011, 43 (1): 87-102.
- [5] Inanici M. N. Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. Lighting Research and Technology, 2006, 38: 123-136.
- [6] Sawicki D., Wolska A. (2015). Discomfort glare prediction by different methods. Lighting Research and Technology, 47: 658-671.
- [7] TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH. (n.d.). Video Photometer Imaging light and colour measuring technique. Maj 2015, from http://www.technoteam.de/product_overview/lmk/products/index_eng.html,